

Autonomes Greifen mit individuell zusammengestellten Greifern des Greifer-Baukastens

Autonomous gripping with individually assembled grippers of the gripper construction kit

Ilja Dick
Stephan Ulrich
Rainer Bruns

Lehrstuhl für Maschinenelemente und Technische Logistik (MTL)
Fakultät für Maschinenbau
Helmut-Schmidt-Universität
Universität der Bundeswehr, Hamburg

Kurzbeschreibung: Am Lehrstuhl für Maschinenelemente und Technische Logistik wird an Greifern für die Logistik und an Kommissioniersystemen geforscht. In diesem Jahr (2018) nahm das MTL an der LogiMAT als Aussteller teil. Unter anderem wurde der Greifer-Baukasten mit beispielhaft konfigurierten Greifern ausgestellt. Zur Veranschaulichung der Leistungsfähigkeit der Greifer wurde ein Demonstrator gebaut. Hierbei handelt es sich um einen interaktiven Stand, bei dem die Messebesucher die zu greifenden Objekte frei auf der dafür vorgesehenen Fläche positionieren können. Die zu greifenden Objekte werden von einem Kamerasystem erfasst und vermessen. In Abhängigkeit der geometrischen Form der erkannten Objekte und des am Roboterarm angebrachten Greifers wird, sofern notwendig, ein automatischer Greiferwechsel durchgeführt, bevor die Objekte der Reihe nach gegriffen und in einem Ablagebehälter abgelegt werden. Der vorliegende Text beschreibt den Aufbau und die Funktionsweise des Demonstrators.

[Automatisierung, Greiferwechsel, Greifen, Objekterkennung, Greifer-Baukasten]

Abstract: At the Institute of Machine Elements and Technical Logistics research is being carried out on grippers for logistics and picking systems. This year (2018), MTL took part in LogiMAT as an exhibitor. Among other things, the gripper construction kit was exhibited with exemplary configured grippers. To illustrate the performance of the grippers, a demonstrator was built. This is an interactive booth where fair visitors can freely position the objects to be gripped on the designated area. The objects to be gripped are recorded and measured by a camera system. Depending on the geometric shape of the detected objects and the gripper attached to the robot arm, if necessary, an automatic gripper change is carried out before the objects are gripped in sequence

and deposited in a storage container. This text describes the structure and operation of the demonstrator.

[Automation, Gripper Change, Grasping, Object Detection, Gripper Construction Kit]

1 EINLEITUNG

Ein wichtiger Bestandteil des Zukunftsprojektes Industrie 4.0 ist die Entwicklung von automatisierten Kommissioniersystemen. „Kommissionierung hat dabei das Ziel, aus einer Gesamtmenge von Gütern (Sortiment) Teilmengen auf Grund von Anforderungen (Aufträgen) zusammenzustellen“ [VDI94]. Während in den Bereichen der Produktion und der Fertigung bereits ein hoher Grad an Automatisierung vorzufinden ist, ist die Kommissionierung weitestgehend auf menschliche Arbeitskräfte angewiesen. Ein wesentlicher Grund dafür besteht zum einen darin, dass die kognitiven Fähigkeiten des Menschen beim Erkennen, Kategorisieren und Interpretieren von Objekten nicht ohne Weiteres auf eine Maschine übertragen werden können. Zum anderen hinkt die Entwicklung von Greifsystemen dem menschlichen Können und seiner Geschicklichkeit weit hinterher. Dennoch gibt es, dank technischer Weiterentwicklung von Sensortechnik, Bildanalysesoftware und den damit verbundenen, günstiger werdenden Beschaffungskonditionen, eine Fülle an Lösungen für die Automatisierung [MAR13].

In der Produktion werden vielfach Vakuumsauger oder Backengreifer verwendet. Oft sind die Greifer auf nur ein Objekt ausgelegt und damit sehr unflexibel. Im Bereich der Forschung wurden einige sehr flexible Greifer, die der menschlichen Hand nachempfunden sind, entwickelt. Sie sind äußerst präzise aber bedingt durch die hohe Anzahl an Freiheitsgraden auch hochkomplex in der Steuerung.

In der Kommissionierung werden andere Anforderungen an einen Greifer gestellt. Der Greifer muss ein universelles Greifvermögen aufweisen, um Objekte unterschiedlicher Größe, Geometrie, Oberflächenbeschaffenheit etc. erfassen zu können. Dafür bietet sich ein modularer Aufbau mit skalierbaren Abmessungen und einem anpassbaren Leistungsspektrum an. Ein einfacher Aufbau aus preisgünstigen Modulen kann dabei die Wirtschaftlichkeit eines Kommissioniersystems erhöhen. Im Gegenzug dazu können bei der Präzision einige Abstriche in Kauf genommen werden [ISE16].

Greifer aus dem Bereich der „Soft-Robotik“ bieten da einen guten Ansatz. Sie bestehen aus anpassungsfähigen, nachgiebigen Materialien die eine sichere Interaktion ermöglichen. Durch ihre Nachgiebigkeit und zum Teil morphologischen Merkmale, passen sie sich an die Form der Greifobjekte, durch eine passive Verformung, an. Zum einen können sie damit gewisse Ungenauigkeiten bei der Positionierung ausgleichen, zum anderen haben sie mehr Freiheitsgrade als Aktoren, was die Steuerung des Greifers vereinfacht.

2 GREIFER-BAUKASTEN

Mit dem Greifer-Baukasten sollen Anwender in die Lage versetzt werden, einen Greifer, speziell nach ihren Anforderungen, nach dem „Do-It-Yourself-Prinzip“ zu bauen. Dazu werden fluidisch betriebene Elastomeraktoren in verschiedenen Längen und Shorehärten bereitgestellt. Der Kraftbereich wird zum einen durch die Anzahl der verwendeten Aktoren, zum anderen durch den Härtegrad des Materials bestimmt. Je höher die Shorehärte gewählt wird, desto höher kann der beaufschlagte Druck auf den Aktor ausfallen.

Die Aktoren werden mittels einer Bajonett-Kupplung, ohne den Einsatz von Werkzeugen, montiert. Zur Druckluftversorgung ist ein Plug-In-System an der Aktorkupplung angebracht. Weitere Verbindungselemente wie Zwischenglieder für die Aktoren und diverse Greiferbasen komplettieren das System. Einen kleinen Überblick über die Elemente des Greifer-Baukastens ist in Abbildung 1 gegeben. Das Ziel ist es mit wenigen Komponenten eine hohe Flexibilität zu erreichen.

Für den automatischen Greiferwechsel im laufenden Betrieb, wurde ein zusätzliches Zwischenelement entwickelt, an dem die Greiferbasis befestigt wird.

3 HARDWARE

Die Hardware umfasst die mittelbar und unmittelbar am Greifprozess beteiligten Komponenten. Dazu gehört der Stand mit einer Ablagefläche für die Greifobjekte und Aufnahme der restlichen Hardware, ein Knickarmroboter, ein Kamerasystem zur Erkennung der Greifobjekte, die

Greifer mit der benötigten Druckluftversorgung und ein Steuerungsrechner. Der ausgestellte Demonstrator ist in Abbildung 2 zu sehen.

3.1 STAND

Der Stand ist in drei Zonen eingeteilt. Die erste Zone ist die, in dem der Roboterarm befestigt ist. Die Größe der Zone wurde so ausgelegt, dass der Roboterarm ausreichend Platz für die Bewegung hat und die beiden anderen Zonen erreichen kann. In der zweiten Zone sind die verschiedenen Greifer platziert, die vom Roboter aufgenommen werden können. Die dritte Zone ist der Bereich, in dem die zu greifenden Objekte abgelegt werden. Zusätzlich wurde an einer Seite des Standes ein Ablagebehälter angebracht, in den die gegriffenen Objekte abgelegt werden. Die angegebenen Zonen sind in Augen/ Arbeitshöhe angebracht. Dadurch kann der Raum darunter für die Technik genutzt werden.

3.2 ROBOTERARM

Bei dem verwendeten Roboterarm handelt es sich um einen UR10 CB2 von Universal Robots. Es ist ein 6-Achsen-Kickarmroboter. Dieser hat einen Aktionsradius von 1,3 m und eine Traglast von 10 kg. Da gerade beim Greiferwechsel nur sehr geringe Toleranzen zur Verfügung stehen, muss die Positioniergenauigkeit des Endeffektors recht genau sein. Bei den im Vorfeld durchgeführten Versuchen hat es sich gezeigt, dass mit dem Roboterarm sowohl unter Verwendung von PolyScope, als auch von Robot Operating System (ROS) eine Positioniergenauigkeit im Millimeterbereich erreicht werden kann. Des Weiteren handelt es sich um einen sogenannten Kollaborativen Roboter (Cobot). Der Roboter ist an den Gelenkantrieben mit Kraftsensoren ausgestattet, sodass beim Überschreiten einer vordefinierten Kraft, der Roboter sich automatisch abschaltet.

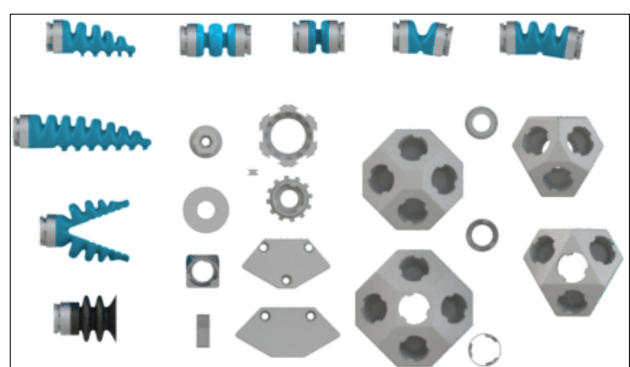


Abbildung 1. Elemente des Greifer-Baukastens

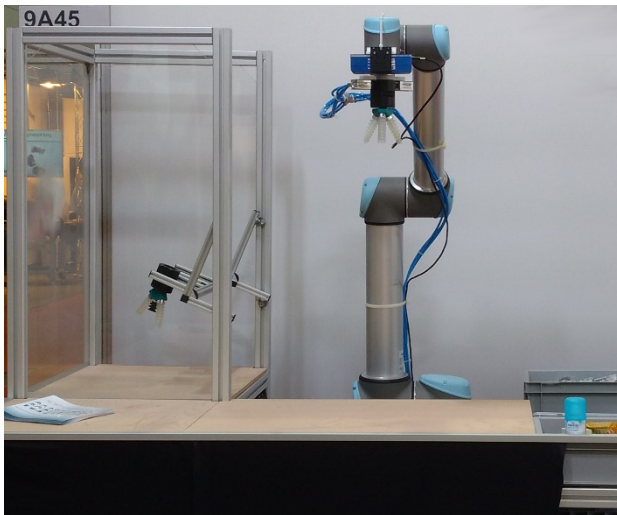


Abbildung 2. Demonstrator

3.3 KAMERA

Mit der Kamera werden die zu greifenden Objekte vermessen. Zum Einsatz kommt eine Ensensio N10-304-18 Stereo-3D-Kamera. Es handelt sich hierbei um eine Stereokamera mit einem Mustergenerator im nahen Infrarotbereich. Der Mustergenerator sorgt dafür, dass auch glatte und strukturarme Oberflächen zuverlässig vermessen werden können. Die Stereokamera ist durch die Wahl des Vergrößerungswinkels und der Objektivbrennweite so konfiguriert, dass sie in einem Arbeitsbereich von 170 mm – 2.000 mm kleine bis mittelgroße Objekte mit einem minimalen Fehler vermisst.

Die Kamera ist direkt am Roboterarm angebracht. Damit das Sichtfeld der Kamera nicht von den montierten Greifern beeinträchtigt wird, ist sie nicht am Endeffektorflansch, sondern am letzten Armkörper des Roboterarms befestigt. Das hat den weiteren Vorteil, dass beim Ausrichten der Greiffinger, also dem Drehen des Greifers, die Kamera nicht mitgedreht wird. Damit kann zum einen der Bereich in dem gegriffen wird weiterhin von der Kamera erfasst werden und zum anderen kann mit dem Roboterarm dichter an Wände herangefahren werden, ohne dass beim Ausrichten des Greifers die Kamera gegen eine Wand stößt.

3.4 GREIFER

Für die Messe wurden zwei Greifer konfiguriert, die in Abbildung 3 zu sehen sind. Beide Greifer werden sowohl mit Druckluft als auch mit Unterdruck betrieben. Der erste Greifer ist ein Zweifingergreifer mit einem Vakuumsauger. Die beiden Finger (Aktoren) sind parallel zueinander angeordnet. Der Vakuumsauger ist in der Mitte der Handbasis, zwischen den beiden Aktoren positioniert. Der Greifer wird über zwei Kanäle, die jeweils auf Druck und Unterdruck umgeschaltet werden können, betrieben. Mit dem ersten Kanal wird der Vakuumsauger versorgt. Hier wird die

Druckluft dazu genutzt um den Ablegevorgang zu beschleunigen. Mit der zweiten Leitung werden die beiden Aktorelemente gleichzeitig betrieben. Das Ablegen von Objekten wird hier durch Aufbringen von Vakuum und dem damit verbundenen Abspreizen der Finger sichergestellt. Der zweite Greifer ist ein Dreifingergreifer. Die Aktorelemente sind konzentrisch, in einem Abstand von 120° zueinander angeordnet. Dieser Greifer wird mit nur einem Druck/ Unterdruck führendem Kanal betrieben.

Um einen Greiferwechsel durchführen zu können wurden die Handbasis und der Roboterflansch modifiziert. Am Roboterflansch sind zwei Zylinder angebracht, deren Kolben zueinander fluchten. Die Zylinder werden ebenfalls mit Druckluft betrieben. Die Handbasis verfügt an zwei Seiten auf entsprechender Höhe über jeweils eine konische Bohrung. Beim Schließen der Zylinder fahren die Kolben in die Bohrungen und zentrieren damit gleichzeitig den Greifer. Die Pneumatik wird über zwei konische Stifte am Roboterflansch übertragen. Die Stifte sind an der Spitze abgedichtet und fahren bei einer Greifermontage in die Handbasis hinein. Die Handbasis hat dazu zwei entsprechende Bohrungen, die ebenfalls konisch gestaltet sind. Durch die konische Form der Elemente richtet sich der Greifer bei der Aufnahme selbständig aus.

3.5 PNEUMATIK

Für den Betrieb der Greifer wird Druckluft benötigt. Um aus der Druckluft ein Vakuum zu erzeugen, werden Ventile der Firma Schmalz verwendet. Die Regelung des Drucks und des Unterdrucks erfolgt über eine dSPACE AutoBox. Das entsprechende Programm läuft auf einem separaten Laptop. Dazu werden die Programme MATLAB/ Simulink und ControlDesk verwendet. Der Schaltbefehl kommt dabei aus den analogen und digitalen Ausgängen des UR10-Rechners.

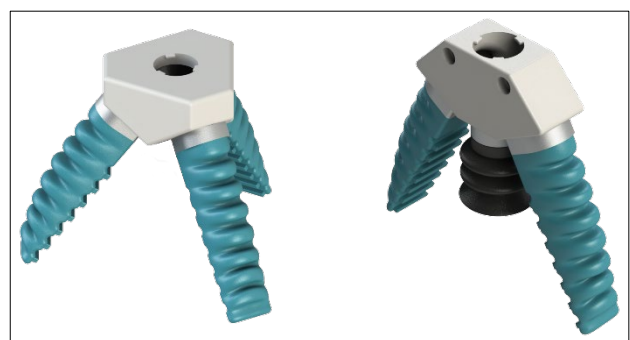


Abbildung 3. Für die Ausstellung konfigurierte Greifer: Dreifingergreifer (links), Zweifingergreifer mit Vakuumsauger (rechts)

3.6 HAUPTRECHNER

Auf dem Hauptrechner läuft das Hauptprogramm des Demonstrators. Dazu gehört auch die Bilderkennung, sowie die Steuerung und Trajektorienplanung des Roboter-

arms. Dazu wird ein handelsüblicher Bürocomputer mit einem Intel Core i7 6700K Prozessor, einer GeForce GTX 960 Grafikkarte, 32 GB RAM Arbeitsspeicher und einer SSD-Festplatte verwendet.

4 SOFTWARE

Die für den Betrieb des Demonstrators entwickelte Software basiert im wesentlichen auf dem ROS-Framework und der Bildverarbeitungsbibliothek OpenCV.

4.1 BILDVERARBEITUNG

Die Bildverarbeitung hat die Aufgabe, die auf dem Tisch platzierten Objekte zu erkennen und einen Greifpunkt zu bestimmen. Die erkannten Objekte müssen einem Greifer zugeordnet werden, mit dem sie am besten gegriffen werden können. Bei den verwendeten zwei Greifern, muss im Grunde unterschieden werden, ob ein Objekt rund/zylinderförmig oder quaderförmig ist. Da der Demonstrator die Objekte stets von oben greift, ist die von oben betrachtete, zweidimensionale Form des Objekts entscheidend.

Um die Kontur der Objekte zu ermitteln, werden die Daten der Stereokamera verwendet. Die Messwerte der Kamera werden in das OpenCV Standardbildformat `cv::Mat` übertragen. Hierbei handelt es sich um einen Container, der eine Matrixstruktur aufweist. Die Zeilen und Spalteneinträge entsprechen dabei Pixeln. Jeder Matrixeintrag (Pixel) kann aus einem oder mehreren Kanälen bestehen. Die Punktkoordinaten der Punktwolke werden in der Matrix so organisiert, dass ein Pixelabstand in der Bildebene einem Millimeter in der X-Y-Ebene der Punktwolke entspricht. Die gemessenen Werte der Punktkoordinaten werden in den drei Kanälen eines Matrixelements hinterlegt.

Aus der beschriebenen Ausgangsdatei wird ein neues Grauwertbild gleicher Auflösung erstellt. Die Grauwerte werden entsprechend der z-Achse, senkrechter Abstand zur Kamera, kodiert. Punkte die einen bestimmten Wert auf der z-Achse überschreiten werden aussortiert. Damit wird die Tischplatte abgeschnitten, sodass nur die zu greifenden Objekte in der Bilddatei enthalten sind. Dieses Bild kann nun ebenenweise oder als Ganzes in ein Binärbild umgewandelt und mit dem Algorithmus von Suzuki [SUZ85] auf Konturen untersucht werden. Sofern die Objekte nicht überlappen oder zu eng beieinanderstehen, erhält man mit diesem Verfahren ein sehr gutes Binärbild, indem die gefundenen Konturen Objekten entsprechen.

Um eine Kontur genau erfassen zu können, ist es notwendig die Kamera möglichst senkrecht zu der Tischplatte (zu den Objekten) auszurichten. Dies bringt jedoch den Nachteil mit sich, dass es durch diese Kamerastellung verstärkt zu Reflektionen an den Objekten kommt. Dieses hat wiederum zur Folge, dass Objekte nicht vollständig erfasst werden. Um zu prüfen, ob es sich nun um eine Kreis- oder

Rechteckform handelt, wird um eine gefundene Kontur sowohl ein Kreis, als auch ein Rechteck minimaler Fläche gelegt. Das Verhältnis der Rechteckdiagonalen zum Kreisradius und das Verhältnis der Rechteckfläche zur Kreisfläche der gefundenen Geometrien entscheiden darüber um welche Form es sich bei dem betrachteten Objekt handelt. Die beiden Schwellwerte dafür wurden experimentell für die Kameraeinstellung und die damit verbundene Messgenauigkeit ermittelt.

Für den Greifpunkt des Objekts, werden die Koordinaten des Mittelpunkts des Kreises bzw. des Rechtecks gewählt. Auf der Position dieser Bildkoordinaten werden in der Ausgangsdatei die Raumkoordinaten, bezogen auf das Kamerakoordinatensystem, ausgelesen.

4.2 ROBOTERSTEUERUNG

Zur Steuerung des Roboterarms wird ROS in der Version „Kinetic Kame“ verwendet. Die Kommunikation mit dem UR10 erfolgt dabei über das „ur_modern_driver“ ROS-Treiber-Paket [AND15]. Das Paket stellt unter anderem ein Action-Interface für eine nahtlose Integration mit MoveIt! bereit. Mit MoveIt! werden die Bewegungsabläufe geplant und über die ROS-Action-Lib ausgeführt.

Die Anfahrpunkte für den Greiferwechsel wurden händisch ermittelt und hinterlegt. Für den Greifvorgang werden die gefundenen Koordinaten aus der Bildverarbeitung verwendet. Bevor diese für die Robotersteuerung genutzt werden können, müssen sie in das Roboterkoordinatensystem transformiert werden. Dazu wird die Position des Endeffektors und seine Orientierung zum Zeitpunkt der Bildaufnahme, sowie der Translationsvektor und die Orientierung der Kamera zum Endeffektor des Roboters benötigt.

Je nachdem mit welchem Greifer gegriffen werden soll, werden diese Koordinaten um greiferspezifische Parameter korrigiert. Weitere ermittelte Variablen aus der Bildverarbeitung, wie z.B. das höchste Objekt, werden bei der Robotersteuerung berücksichtigt um Kollisionen zu vermeiden.

4.3 GREIFERSTEUERUNG

Der Rechner des Knickarmroboters verfügt über digitale und analoge Ein- und Ausgänge. Das ROS-Treiber-Paket für den UR10 beinhaltet Services, über die diese Ausgänge direkt mit dem ROS-Kommunikationssystem geschaltet werden können. Die Zylinder am Roboterflansch, die für den Greiferwechsel genutzt werden, werden über zwei digitale Ausgänge geschaltet. Die Steuerung der Greiffinger und des Vakuumsaugers erfolgt über analoge Ausgänge. Je nach Spannungsniveau des jeweiligen Ausganges wird am entsprechenden Kanal ein Überdruck, Vakuum oder Normaldruck erzeugt.

Die Greifkraft hängt von dem erzeugten Druck in den Aktoren ab. Dieser wurde auf 0,85 bar Überdruck eingestellt. Mit dem Dreifingergreifer lassen sich damit Objekte bis zu einem Gewicht von 600 g greifen. Gleichzeitig können damit auch empfindliche Objekte, wie z.B. Tomaten, beschädigungsfrei gehandhabt werden.

4.4 ABLAUFSTEUERUNG

In der Ablaufsteuerung kommen die Softwarekomponenten zur Steuerung der Hardware zusammen. Da der Demonstrator auf einer Messe ausgestellt wurde, spielte die Sicherheit eine wichtige Rolle. Die baulichen Maßnahmen des Standes stellen bereits sicher, dass der Roboterarm die Messebesucher, bei dem größten Teil seiner Bewegung, nicht gefährden kann. Die Parameter des Roboters wurden so eingestellt, dass nur die Anfahrpunkte als zulässig angenommen wurden, die innerhalb der baulichen Abmessungen des Standes liegen.

Beim Platzieren der Greifobjekte überschneiden sich die Kontakträume der Messebesucher und des Roboters. Aufgrund des eingesetzten Prinzips der Objekterkennung, muss sichergestellt werden, dass der Roboter erst eine Bewegung ausführt, sobald die Hände der objektplatzierenden Person aus dem Bereich entfernt wurden. Sonst kann es dazu kommen, dass die Hände oder der Unterarm als ein zu greifendes Objekt identifiziert werden. Dazu durchläuft die Bildaufnahme eine Schleife. Bei jedem Schleifendurchgang wird gemessen wie viele Pixel des neuen Bildes eine Abweichung zu dem zuvor aufgenommenen Bild aufweisen. Erst wenn die Anzahl solcher Pixel einen zuvor definierten Wert unterschreitet, wird das Programm mit den weiteren Schritten fortgesetzt. Da bedingt durch die Messtechnik es gerade im Randbereich von Objekten stets zu Abweichungen kommt, wurde dieser Grenzwert nicht auf null gesetzt, sondern experimentell bestimmt.

Liegt eine zulässige Aufnahme der Szene vor, beginnt das Programm mit der Bildverarbeitung. Alle identifizierten Objekte, die gegriffen werden können, werden in eine Liste gespeichert. Die Auswahl des zu greifenden Objekts erfolgt dabei zufällig. Um unnötige Greiferwechsel zu vermeiden, wird jedoch der aktuell montierte Greifer berücksichtigt. Alle Objekte, die mit diesem Greifer gegriffen werden können, werden der Reihe nach aufgenommen und in einer Sammelbox abgelegt. Nach jedem Greifvorgang beginnt der Ablauf des Programms von vorn um eventuelle Veränderungen bei den Greifobjekten zu berücksichtigen.

Ein Greiferwechsel wird durchgeführt, wenn keine Objekte dem aktuell montierten Greifer zugeordnet werden können, jedoch mindestens ein Objekt zum Greifen identifiziert wurde. Da die Greifer über keinerlei Sensorik verfügen, wird der aktuell montierte Greifer softwareseitig, nach einem Greiferwechsel erfasst.

5 ERKENNTNISSE UND AUSBLICK

Das vorgestellte Konzept ist auf ein großes Interesse seitens der Industrie gestoßen. Anfragen kamen aus unterschiedlichen Branchen. Konkret wurde z.B. nach einem System zum Handhaben von Glasflaschen, Lebensmitteln oder Pharmaprodukten geguckt. Durch Gespräche konnten neue Erkenntnisse aus der Praxis gewonnen werden, die in die Weiterentwicklung der Greifer einfließen werden.

Interesse bestand sowohl an einer Komplettlösung, als auch nur an den Greifern. Gerade Start-Ups mit einer weitentwickelten Vision-Lösung sind auf der Suche nach geeigneten Greifern für ihre Systeme. Die von uns entwickelte und eingesetzte Bildverarbeitung konnte damit überzeugen, dass Messebesucher die ausgestellten Greifer mit ihren Objekten wie Wasserflache, Schlüsselbund, Brieftasche oder Smartphone testen konnten.

Kritik kam vor allem bezüglich der Geschwindigkeit des Systems. Einerseits bedingt die Langsamkeit durch die relativ lange Reaktionszeit, andererseits durch die langsame Roboterarmbewegung. Für die Reaktionszeit ist der Sicherheitsaspekt verantwortlich, bei dem die Bildverarbeitung erst sicherstellen muss, dass keine Hände im Gefahrenbereich mehr sind. Auch die Positionierung der Kamera am Roboterarm trägt ihren Teil dazu bei. Die Geschwindigkeit des Roboterarms war ebenfalls weit vom maximal möglichen entfernt. An diesen Stellschrauben kann noch gut geschraubt werden.

Während für den Demonstrator die Greiferparameter noch händisch ermittelt wurden, soll dies im nächsten Schritt eine Software übernehmen. In dieser soll der aus standardisierten Elementen konfigurierte Greifer abgebildet werden können, woraus ein Parametersatz für externe Softwarekomponenten generiert wird.

LITERATUR

- [AND15] Andersen, T.T.: *Optimizing the Universal Robots ROS driver*. Technical University of Denmark, Department of Electrical Engineering, 2015.
- [ISE16] Isermann, J.; Ulrich, S.; Bruns, R.: *Modellierung, Regelung und Erprobung eines pneumatischen Biegeaktors für den Antrieb eines flexiblen Intralogistikgreifers*. In: Tagungsband zum 12. Fachkolloquium der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik e.V. (WGTL), S.225-232, Stuttgart 2016.
- [MAR13] Stache U.; Martini, A.; Trenker, F.: *Kommissionieren mit Robotern und Automaten*. In: Logistik für Unternehmen, 15 (2013), Nr. ½, S. 52 -57, Springer VDI Verlag Düsseldorf, 2013.
- [SUZ85] Suzuki, S.; Abe, K.: *Topological Structural Analysis of Digitized Binary Images by Border Following*. CVGIP 30 1, pp 32-46, 1985
- [VDI94] VDI-Richtlinie 3590: Kommissioniersysteme – Grundlagen, Blatt 1. April 1994

E-Mail: stephan.ulrich@hsu-hh.de
Tel.: 040 6541 – 2495

E-Mail: rainer.bruns@hsu-hh.de
Tel.: 040 6541 – 2855

Ilja Dick, M.Sc. hat hochschulübergreifend Wirtschaftsingenieurwesen an der Universität Hamburg, der Hochschule für Angewandte Wissenschaften, der Technischen Universität Hamburg Harburg sowie der Helmut-Schmidt-Universität studiert und ist seit Januar 2017 am Lehrstuhl für Maschinenelemente und Technische Logistik an der Helmut-Schmidt-Universität in Hamburg als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig.

Dr.-Ing. Stephan Ulrich hat Physikalische Ingenieurwissenschaften an der Technischen Universität Berlin studiert und ist seit 2006 am Lehrstuhl für Maschinenelemente und Technische Logistik an der Helmut-Schmidt-Universität in Hamburg tätig.

Prof. Dr.-Ing. Rainer Bruns hat Luft- und Raumfahrt an der Technischen Universität Braunschweig studiert und ist seit 1992 Leiter des Lehrstuhls für Maschinenelemente und Technische Logistik an der Helmut-Schmidt-Universität in Hamburg.

Adresse: Helmut-Schmidt-Universität, Universität der Bundeswehr Hamburg, Fakultät für Maschinenbau, Lehrstuhl für Maschinenelemente und Technische Logistik, Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg,

E-Mail: ilja.dick@hsu-hh.de
Tel.: 040 6541 – 2463